نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۳۹۹-۳۸۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 385-399

مقاله پژوهشی

اثر کشت مخلوط سه تیپ رشدی لوبیا در سری‌های جایگزینی بر شاخص‌های رشدی آن‌ها

یونس رامش جان[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]، مهدی نصیری محلاتی[۲]، سرور خرم دل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰

چکیده

به‌منظور تولید محصولات سالم تحت شرایط عدم استفاده از نهاده‌های شیمیایی که تضمین‌کننده سلامت انسان باشد، کاشت این گیاهان به‌صورت مخلوط بسیار مفید می‌باشد. در این راستا آزمایشی با هدف بررسی اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط بر شاخص‌های رشدی، سه تیپ رشدی لوبیا شامل چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)، چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) و قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) در سری‌های جایگزینی، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار و سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای کشت مخلوط شامل ۷۵٪ قرمز+ ۲۵٪ چیتی، ۷۵٪ قرمز+ ۲۵٪ چشم‌بلبلی، ۲۵٪ قرمز+۷۵٪ چیتی، ۲۵٪ قرمز+ ۷۵٪ چشم‌بلبلی، ۷۵٪ چیتی+ ۲۵٪ چشم‌بلبلی و ۷۵٪ چشم‌بلبلی+ ۲۵٪ چیتی و کشت خالص هر سه تیپ رشدی بود. صفات مورد مطالعه شامل شاخص سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت آسیمیلاسیون خالص بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و سرعت رشد گیاه برای هر سه تیپ رشدی لوبیا از کشت خالص و کمترین میزان شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک برای لوبیا قرمز از تیمار ۲۵٪ قرمز+ ۷۵٪ چشم‌بلبلی و سرعت رشد گیاه از تیمار ۲۵٪ قرمز+ ۷۵٪ چیتی مشاهده شد. برای لوبیا چیتی و چشم‌بلبلی هر سه این شاخص‌ها به‌ترتیب از تیمار ۲۵٪ چیتی+ ۷۵٪ چشم‌بلبلی و ۷۵٪ چیتی+ ۲۵٪ چشم‌بلبلی به‌دست آمد. بیشترین سرعت رشد نسبی لوبیا قرمز (۰/۲۱ گرم بر گرم در روز)، چیتی (۰/۱۸ گرم بر گرم در روز) و چشم‌بلبلی (۰/۲۲ گرم بر گرم در روز) به‌ترتیب در تیمارهای ۷۵٪ چیتی+ ۲۵٪ قرمز، کشت خالص و ۷۵٪ چشم‌بلبلی+۲۵٪ چیتی ثبت شد همچنین بیشترین سرعت آسیمیلاسیون خالص (۴۱ گرم بر متر مربع برگ در روز) در لوبیا قرمز از کشت خالص، برای چیتی نیز بیشترین (۱۴گرم بر متر مربع برگ در روز) مقدار آن در تیمار ۲۵٪ قرمز+ ۷۵٪ چیتی و برای لوبیا چشم‌بلبلی (۵۲ گرم بر متر مربع برگ در روز) از تیمار مخلوط ۷۵٪ قرمز+ ۲۵٪ چشم‌بلبلی به‌دست آمد. به‌طور کلی، تیمارهای کشت مخلوط موجب بهبود برخی از شاخص‌های مورد مطالعه برای گیاهان مورد بررسی شدند و البته تراکم بیشتر کشت خالص موجب بهبود برخی شاخص‌های مانند سطح برگ و ماده خشک مربوط به هر سه تیپ رشدی مختلف شد.

واژه‌های کلیدی: تجمع ماده خشک، تیپ رشدی لوبیا، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ

مقدمه

پیش‌بینی شده است که جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ میلادی به نه میلیارد نفر برسد و تقاضا برای غذا به دو برابر سطح فعلی افزایش خواهد یافت (Godfray *et al*., 2010). در آن زمان با چالش اثرات اقلیمی و زیست‌محیطی ناشی از سیستم‌های تولیدی توسط بشر مواجه خواهیم بود (Canfield *et al*., 2010)، در نتیجه یکی از راهکارهای رفع این مشکل استفاده از اصول کشاورزی پایدار در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد، کشاورزی پایدار تلفیقی از دانش مدیریت زراعی است که می‌تواند در بلندمدت از نظر بیولوژیکی، زیست‌محیطی و اقتصادی ارزش افزوده‌ی مطلوبی به همراه داشته باشد. ایجاد تنوع در روش‌های مدیریت و اشکال مختلف بهره‌برداری از منابع یا به‌عبارت دیگر، افزایش تنوع کشاورزی ازجمله بهترین و موثرترین راهکارهای حصول به پایداری تولید است (Baulcombe *et al*., 2009).

کشت مخلوط یکی از روش‌های مهم در کشاورزی پایدار است که با اجرای آن می‌توان ضمن به‌کارگیری فناوری مدرن، از منابع زیست‌محیطی به صورت پایدار بهره‌برداری نمود. بهترین ویژگی نظام‌های کشت مخلوط افزایش تنوع بر حسب ساختار رویشگاه و گونه گیاهی می‌باشد، به‌طوری‌که نظام‌های کشت مخلوط بیشتر شبیه جوامع گیاهی طبیعی هستند (Koocheki *et al*., 2006). این نظام‌ها برخلاف نظام‌های تک‌کشتی در راستای اصول اکولوژیکی پیش می‌روند و در صورت بهره‌گیری مؤثر و گسترده از آن‌ها ثبات و پایداری نظام‌های کشاورزی به‌ویژه در شرایط کم نهاده افزایش می‌یابد (Nassiri Mahallati *et al*., 2014).

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، عضو هیئت علمی گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار، عضو هیئت علمی گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v0i0.80180

کشت مخلوط نوعی فعالیت زراعی است که طی آن دو یا چند گیاه زراعی به‌صورت هم‌زمان در یک قطعه زمین زراعی کشت می‌شود (Dela-Foente *et al*., 2014). نتایج تحقیقات مختلف در مورد کشت مخلوط نشان داده است که کارآیی بالاتر استفاده از نهاده‌ها اعم از نور، آب و مواد غذایی (Koocheki *et al*., 2010)، امکان کنترل علف‌های هرز (Koocheki *et al*., 2006)، ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب، افزایش کمیت و کیفیت محصول (Kremer and Kussman, 2011; Barker and Dennett, 2013; Cao *et al*., 2015)، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها و افزایش تنوع زیستی (Nassiri, 2000) را به همراه داشته است و افزایش تنوع محصولات در کشت مخلوط منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی نسبت به نظام‌های تک‌کشتی می‌شود (Tang *et al*., 2014). نتایج آزمایش بررسی شاخص‌های رشد وتنوع علف‌های هرز در سری‌های جایگزینی و افزایشی کشت مخلوط زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) نشان داده است که کشت مخلوط با افزایش تنوع، موجب کاهش تعداد، وزن خشک و شاخص‌های اکولوژیکی تنوع علف‌های هرز گردید (Khorramdel *et al*., 2014).

استفاده از لگوم‌ها در کشت مخلوط موجب تثبیت بیولوژیکی نیتروژن می‌شود، مصرف کود نیتروژنی کاهش می‌یابد و بر اثر آن از آلودگی محیط‌زیست نیز جلوگیری می‌شود (Elijah and Akunda, 2001). امروزه مشخص شده است که عملکرد نظام‌های کشت مخلوط می‌تواند بیشتر از نظام‌های تک‌کشتی باشد، ولی این بدان معنی نیست که کشت هر نوع گیاهانی به‌صورت مخلوط الزاماً منجر به افزایش عملکرد شود بلکه می‌بایستی با انتخاب نوع گیاهان در ترکیب جدید مخلوط میزان رقابت آن‌ها کاهش داد و در نتیجه امکان استفاده بهتر از منابع محیطی فراهم نمود (Mazaheri, 1987).

هرچه اختلافات بین ارقام (مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی) بیشتر باشد احتمال افزایش عملکرد کل مخلوط بیشتراست (Cubbls and Kenachuk, 1987). مخلوطی از ژنوتیپ‌های مختلف باعث ثبات تولید می‌شوند که این موضوع برای رسیدن به حداکثر عملکرد در هر سال حائز اهمیت است (Jensen, 1952). بررسی‌ها در کشت مخلوط ارقام گندم (Righi *et al*., 1989)، سویا (Probst, 1975) و ذرت (Kannenberg *et al*., 1992) نشان داده است که اکثر شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند سرعت رشد محصول سرعت رشد نسبی و شاخص سطح برگ و همچنین عملکرد تاثیر مثبت بیشتری در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌پذیرد.

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی از خانواده حبوبات (Fabaceae) می‌باشد. حبوبات به دلیل همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک دارند و به همین دلیل در تناوب با سایر گیاهان زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، بقایای این گیاهان نیز به دلیل کیفیت مناسب، کاربرد وسیعی در تغذیه دام دارد (Nezami and Bagheri, 2005). حبوبات به‌عنوان دومین منبع تأمین نیاز غذایی بشر در بین گیاهان زراعی از جایگاه خاصی برخوردار بوده و در بین آن‌ها، لوبیا با سطح زیر کشت ۲۲ میلیون هکتار و تولید سالانه بیش از ۲۳ میلیون تن مقام اول را در جهان دارا می‌باشد. این در حالی است که سطح زیر کشت و تولید این محصول در ایران به‌ترتیب ۹۸ هزار هکتار و ۲۵۳ هزار تن برآورد شده است. از کل حبوبات تولید شده در کشور گیاه لوبیا ۳۱ درصد در رتبه دوم قرار گرفته است (FAO, 2013).

بسیاری از شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد (همچون شاخص سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت آسیمیلاسیون خالص و غیره) و همچنین عملکرد مخلوط بیشتر از عملکرد اجزای آن‌ها بوده و برعکس در بعضی مطالعات این شاخص‌ها در مخلوط ارقام یا تیپ‌های مختلف کاهش یافته است (Probst, 1975). به‌دلیل این‌که خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی لوبیا در عملکرد نهایی تاثیر به‌سزایی داشته و در کشت‌های مخلوط تیپ‌های مختلف لوبیا نسبت به کشت خالص، این خصوصیات تحت تاثیر تیپ رشدی و نوع کشت مخلوط قرار می‌گیرد، لذا لازم به نظر می‌رسد که تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تیپ‌های رشدی لوبیا در این شرایط آب و هوای مشهد بررسی شود، تا بهترین نوع کشت مخلوط از نظر فضایی و استفاده موثرتر از منابع به‌دست آید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا، ۹۸۵ متر) اجرا شد. به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شمیایی خاک محل آزمایش قبل از شروع آزمایش نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام که نتایج در جدول ۱ آورده شده است.

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و نه تیمار در زمینی به ابعاد ۱۲×۴۰ متر انجام شد. نسبت‌های مخلوط دو به دو تیپ‌های رشدی لوبیا چیتی، چشم‌بلبلی و قرمز بر اساس سری‌های جایگزینی شامل ۷۵٪ قرمز+ ۲۵٪ چیتی، ۷۵٪ قرمز+ ۲۵٪ چشم‌بلبلی، ۲۵٪ قرمز+ ۷۵٪ چیتی، ۲۵٪ قرمز+ ۷۵٪ چشم‌بلبلی، ۷۵٪ چیتی+ ۲۵٪ چشم‌بلبلی و ۷۵٪ چشم‌بلبلی+۲۵٪ چیتی و کشت خالص هر سه تیپ رشدی به‌عنوان تیمار مد نظر قرار گرفتند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) محل آزمایش
Table 1- Physical and chemical characteristics of exprimntal soil (0-30 cm depth)

پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	بافت Texture
172	30	0.35	0.079	2.4	7.4	لوم سیلتی Silty loam

عملیات آماده‌سازی زمین به منظور خرد کردن کلوخه‌ها، خرد کردن گیاهان موجود و مخلوط کردن آن‌ها با خاک، اصلاح بستر بذر و از بین بردن علف‌های هرز شامل دیسک، لولر و فاروئر در اوایل فروردین ماه انجام شد. سپس کرت‌هایی به طول چهار متر و عرض سه متر ایجاد شد که هرکرت شامل هشت ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. فاصله بین کرت‌ها یک پشته نکاشت و فاصله بین بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت برای هر یک از گیاهان هم‌زمان در تاریخ ۲۰ فروردین ماه و به روش خشکه‌کاری بر روی پشته انجام شد. تیپ‌های رشدی لوبیا شامل لوبیا قرمز (ایستاده رشد محدود)، لوبیا چیتی (بالا رونده رشد نامحدود) و لوبیا چشم‌بلبلی (رشد زیاد، بوته‌ای و تا حدی رونده و رشد نامحدود) بود. بذور مورد نیاز از ارقام محلی از شرکت آذریون بذر توس تهیه شد. تراکم مورد نظر برای کشت خالص و مخلوط هر تیپ رشدی ۲۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد (Ali Madadi, 2005). به منظور تسهیل در سبز شدن بلافاصله پس از کاشت اولین آبیاری و در دو هفته اول با فاصله پنج روز و سپس تا پایان فصل رشد به فاصله هر هفت روز یکبار به روش جوی و پشته انجام شد. در طول فصل رشد از هیچ نوع کود و سموم شیمیایی استفاده نگردید. کنترل علف‌های هرز پس از اولین آبیاری به‌صورت دستی شروع و تا پایان فصل رشد بر حسب ضرورت انجام شد. در پایان فصل رشد، قبل از برداشت نهایی برای تعیین اجزای عملکرد از سطح نیم متر مربع نمونه‌برداری صورت گرفت.

نمونه‌برداری در طول فصل رشد برای ثبت روند شاخص‌های رشدی، پس از ۳۵ روز (اولین نمونه‌برداری) هر ۱۴روز یکبار (شش نوبت نمونه‌برداری) از سطح ۰/۱۵ متر مربع نمونه‌برداری انجام شد. سطح برگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج Leaf Area Meter (Licor LI-3100) اندازه‌گیری و از داده‌ها برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI; Leaf area index) استفاده شد. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک قرار داده، اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم انجام و از داده‌ها جهت برآورد روند تجمع ماده خشک (TDM; Total dry matter) استفاده گردید. در نهایت از این داده‌ها برای تجزیه و تحلیل روزانه شاخص‌های رشد شامل ماده خشک کل (TDM)، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR; Crop growth rate)، سرعت رشد نسبی (RGR; Relative growth rate) و سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR; Net assimilation rate) به روش تابعی (Yusuf, 1999) استفاده شد. تغییرات روزانه شاخص سطح برگ با برازش تابع لجستیکی (رابطه ۱) به داده‌های اندازه‌گیری شده برآورد گردید (Yusuf, 1999):

$$Y = \frac{a + b \cdot 4 \cdot (\exp(-(t-c)/d))}{(1+\exp(-(t-c)/d))^2} \qquad (۱)$$

که در آن، Y: شاخص سطح برگ، b: حداکثر شاخص سطح برگ، c: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، a و d: ضرایب معادله و t روز پس از سبز شدن می‌باشد. تغییرات ماده خشک نیز روندی سیگموییدی داشت (رابطه ۲).

$$Y = \frac{a}{1+b \cdot \exp(-ct)} \qquad (۲)$$

که در آن، Y: ماده خشک ($g.m^{-2}$)، a: حداکثر ماده خشک تولید شده ($g.m^{-2}$)، c: میانگین سرعت رشد نسبی، b: ضریب معادله و t: روز پس از سبز شدن می‌باشد. از مشتق اول معادله ۲ ($\frac{dY}{dt}$) سرعت رشد محصول (CGR) بر حسب $g.m^{-2}.d^{-1}$ محاسبه شد (رابطه ۳).

$$\frac{dY}{dt} = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot \exp(-ct)}{(1+b \cdot \exp(-ct))^2} \qquad (۳)$$

و سرعت رشد نسبی (RGR، $g.g^{-1}.d^{-1}$) (رابطه ۴) از مشتق دوم رابطه (۲) به‌دست آمد (رابطه ۴).

$$\frac{d_2Y}{dt} = \frac{b \cdot c \cdot \exp(-ct)}{1+b \cdot \exp(-ct)} \qquad (۴)$$

با معلوم بودن مقادیر CGR و LAI: سرعت فتوسنتز خالص (NAR، $g.m^{-2} leaf\, d^{-1}$) از رابطه (۵) محاسبه شد.

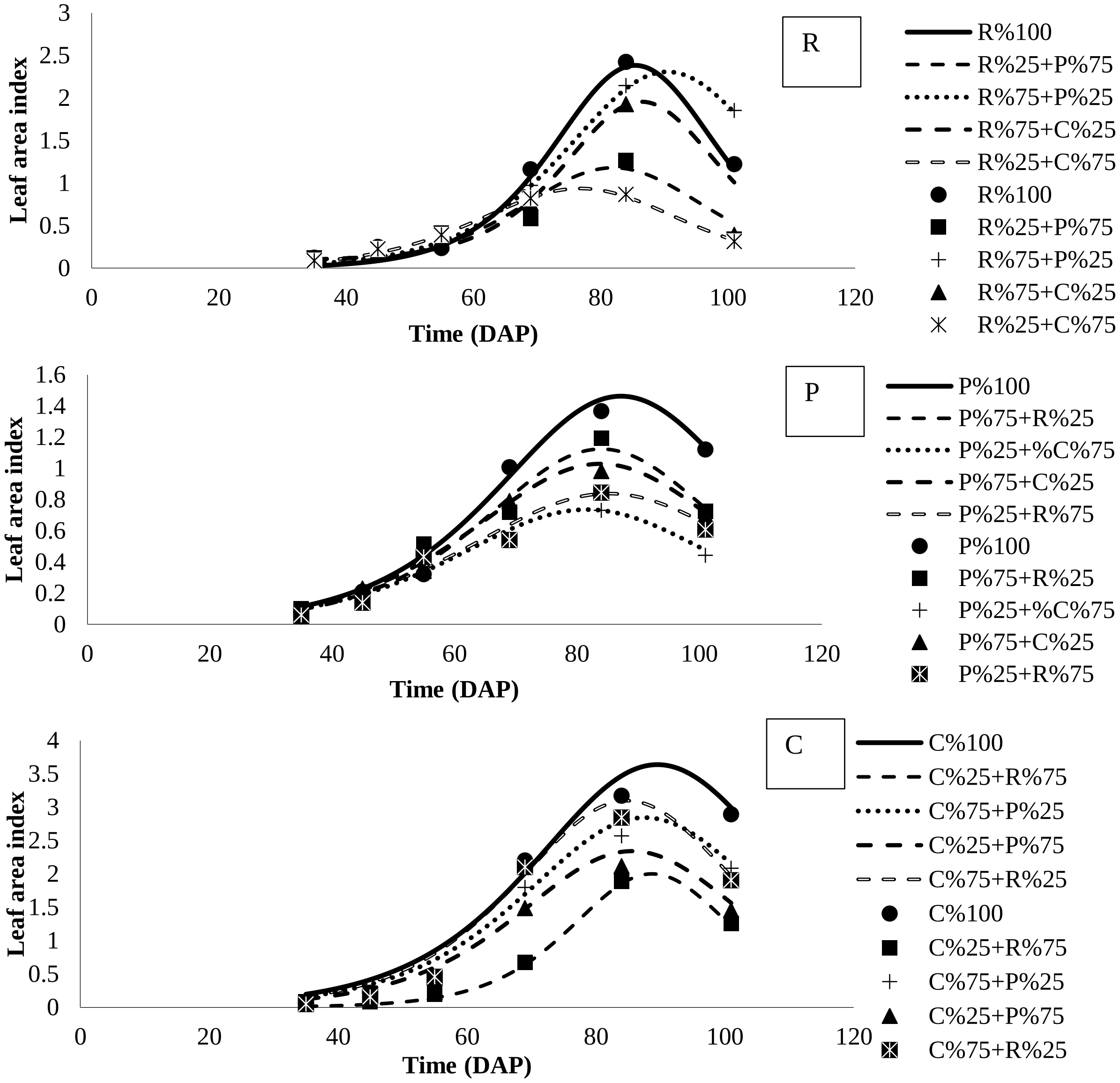
$$NAR = \frac{CGR}{LAI} \qquad (۵)$$

نهایتاً برازش توابع و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار SlideWrite و MS Excel انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح برگ به سطح زمینی است که گیاه اشغال می‌نماید. همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، تغییرات شاخص سطح برگ از روند سیگموئیدی پیروی می‌کند. بدین صورت که ابتدا به‌آرامی افزایش یافته سپس دوره رشد سریع آن آغاز می‌شود. در تیمارهای مختلف روند افزایش شاخص سطح برگ لوبیا قرمز تا ۶۰، لوبیا چیتی ۴۵ و لوبیا چشم‌بلبلی تا ۵۰ روز پس از کاشت روندی کند داشت و سپس با گرم‌تر شدن هوا، تا حدود ۹۰-۸۰ روز پس از کاشت که سبب گسترش سریع برگ‌ها، می‌شود این روندی نسبتاً سریع بود. بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ لوبیا قرمز در ۸۰ روز پس از کاشت در کشت خالص و مخلوط ۲۵٪ قرمز+ ۷۵٪ چشم‌بلبلی به‌ترتیب با ۲/۴۵ و ۱ مشاهده شد (شکل R-۱). بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ لوبیا چیتی در ۸۵ روز پس از کاشت در کشت خالص و مخلوط ۲۵٪چیتی+ ۷۵٪ چشم‌بلبلی به‌ترتیب با ۱/۴۵ و ۰/۷۵ مشاهده شد (شکل ۱-P). بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ لوبیا چشم‌بلبلی در ۹۰-۸۰ روز پس از کاشت به‌ترتیب در کشت خالص و مخلوط ۲۵٪ چشم‌بلبلی + ۷۵٪ لوبیا قرمز با ۳/۶۰ و ۲ مشاهده شد (شکل ۱-C). پس از آن با افزایش سایه‌اندازی و کاهش نفوذ نور به داخل کانوپی فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و به‌دلیل ریزش برگ‌های پایین کانوپی، زرد شدن برگ‌ها، پیری و شروع رشد زایشی، کاهش یافتند (شکل ۱).



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلبلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی

Figure 1- Trends of leaf area index (LAI) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series

این پدیده هنگامی رخ می‌دهد که تولید برگ‌های جدید جبران سطح برگ از دست رفته را نمی‌کند (Jahan *et al*., 2012). از آنجا که شاخص سطح برگ، معادل نسبت سطح برگ به سطح زمین سایه‌انداز برگ است، لذا با افزایش تعداد بوته در واحد سطح در کشت خالص، سطح برگ نیز افزایش خواهد یافت. در کشت مخلوط لوبیا و گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) نیز بالاترین شاخص سطح برگ در تیمار دو ردیف لوبیا + دو ردیف گل‌گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (Koocheki *et al*., 2013). با کاهش سهم هر یک از تیپ‌های رشدی لوبیا از شاخص سطح برگ آن‌ها کاسته شد، ولی برای دوتیپ لوبیا قرمز و لوبیا چیتی زمانی که با لوبیا چشم‌بلبلی همراه بودند این روند افزایشی کندتر بود (شکل ۱). ولی‌زاده (Valizadeh, 2016) نیز با بررسی کشت مخلوط ردیفی لوبیا و سیاهدانه اظهار داشت که پس از گذشت ۹۰ روز، روند تغییرات سطح برگ لوبیا در کشت خالص به حداکثر خود رسید و پس از آن، روند کاهشی برای این شاخص مشاهده گردید و کمترین میزان شاخص سطح برگ نیز در تیمار کشت مخلوط با سیاهدانه مشاهده گردید. به‌طور کلی، با افزایش تراکم بوته، شاخص سطح برگ تک گیاه ممکن است با کاهش مواجه گردد و این کاهش در گیاهان مغلوبیت در رقابت محسوس می‌باشد، ولی در کل مجموع سطح برگ گیاهان در واحد سطح افزایش می‌یابد (Dhingra *et al*., 1991). نتایج بررسی جذب و کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط ارزن معمولی و سویا نیز نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ سویا در تیمار تک‌کشتی آن به‌دست آمده و با افزایش سهم ارزن در کشت مخلوط شاخص سطح برگ سویا کاهش یافت (Hajinia and Ahmadvand, 2017). چون تشعشع خورشیدی به‌طور یکنواختی روی سطح پخش می‌شود، لذا شاخص سطح برگ معیار تقریبی مساحت برگ‌ها در واحد سطح است که تشعشع خورشید برای آن‌ها قابل دسترس می‌باشد (Koocheki and Seramandria, 2005).

روند تجمع ماده خشک (TDM)

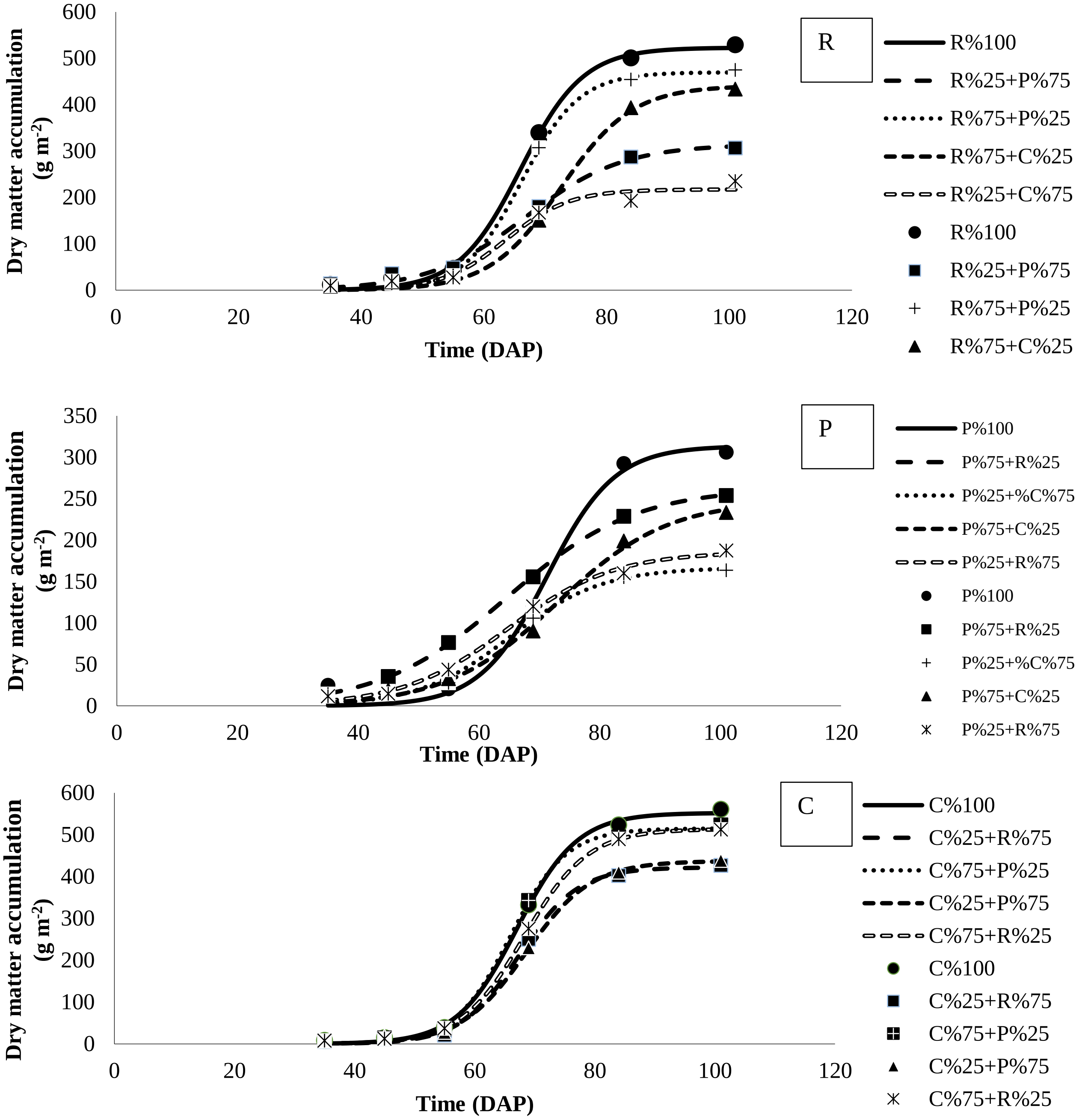
در مراحل اولیه رشد و هنگامی که گیاه هنوز کوچک است، افزایش واقعی وزن خشک اندک است، ولی هم‌زمان با بزرگتر شدن گیاه، وزن گیاه افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که برای لوبیا قرمز تا ۶۰ و لوبیا چیتی و لوبیا چشم‌بلبلی تا ۵۵ روز پس از کاشت میزان ماده خشک تولیدی در هر یک از تیمارهای تیپ‌های رشدی تقریباً روند افزایشی یکسان بوده است و به کندی افزایش یافته، اما از آن به بعد تیمارهای خالص ماده خشک بیشتری نسبت به تیمارهای مخلوط آن‌ها تولید نمود. بیشترین ماده خشک تجمع‌یافته در انتهای فصل رشد (۱۰۱ روز پس از کاشت) هر یک از از تیمارهای کشت خالص و کمترین، از تیمار کشت مخلوط آن‌ها بود. کمترین ماده خشک تجمع‌یافته لوبیا قرمز از تیمار کشت مخلوط ۲۵٪ قرمز+ ۷۵٪ چشم‌بلبلی با ۲۲۰ گرم بر متر مربع بود (شکل ۲- R)، کمترین ماده خشک تجمع‌یافته لوبیا چیتی از کشت مخلوط ۲۵٪ چیتی+ ۷۵٪ چشم‌بلبلی با ۱۶۰ گرم بر متر مربع بود (شکل ۲- P) و کمترین ماده خشک تجمع‌یافته لوبیا چشم‌بلبلی در ۱۰۱ روز پس از کاشت مربوط به کشت مخلوط ۲۵٪ چشم‌بلبلی+ ۷۵٪ قرمز با ۴۱۰ گرم بر متر مربع مشاهده شد (شکل ۲- C). با کاهش سهم هر یک از تیپ‌های رشدی در کشت مخلوط میزان تجمع ماده خشک و روند افزایشی کندتر بود و از طرفی برای لوبیا قرمز و چیتی در زمانی که با لوبیا چشم‌بلبلی همراه بوداند این روند کندتر و میزان تجمع ماده خشک در انتهای فصل نیز کمتر بود (شکل ۲).

نتایج بعضی از مطالعات نشان داده است که اختلاط تعدادی از ارقام ذرت باعث کاهش تجمع ماده خشک شده است (Chapman *et al*., 1989). نتایج آزمایشی روی بررسی جذب و کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط ارزن معمولی و سویا نشان داد، که بیشترین تجمع ماده خشک سویا در تیمار تک‌کشتی آن به‌دست آمد (Hajinia and Ahmadvand, 2017). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel *et al*., 2014) نیز گزارش کردند که بیشترین وزن خشک در کشت خالص لوبیا و کمترین میزان برای تیمار ۱۰۰٪ زنیان +۵۰٪ لوبیا بود. داس و همکاران (Das *et al*., 2008) در بررسی کشت مخلوط گندم با نخود (*Cicer arietinum* L.) و عدس اظهار داشتند که در همه مراحل رشد، کشت خالص هر یک از گیاهان نسبت به کشت مخلوط تجمع ماده خشک بیشتری داشت. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2013) گزارش کردند که بیشترین وزن خشک در کشت خالص لوبیا و کمترین میزان برای تیمارهای کشت مخلوط لوبیا با گاوزبان اروپایی مشاهده شد.

سرعت رشد محصول (CGR)

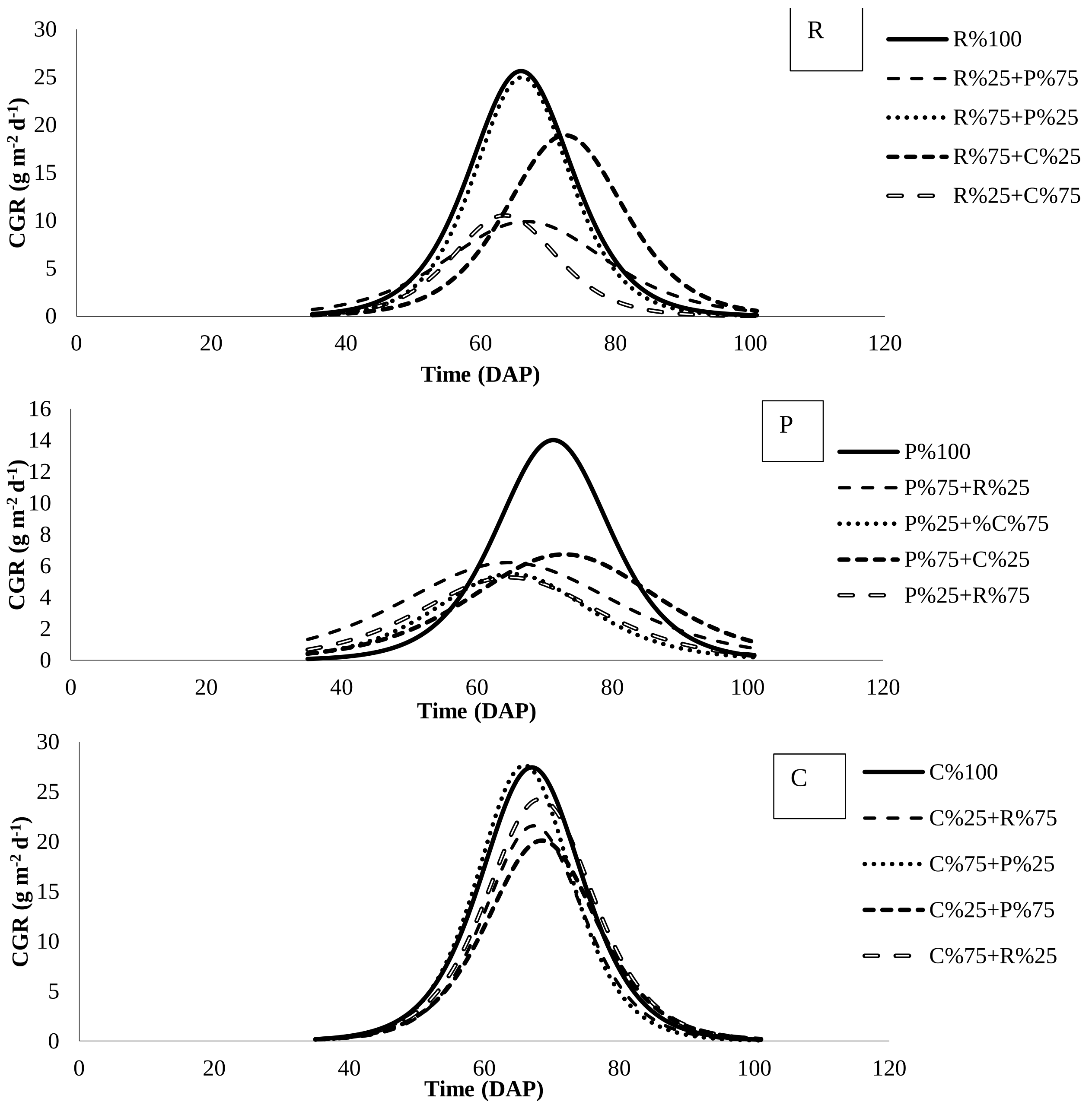
سرعت رشد محصول شاخصی است که میزان تجمع مادۀ خشک را در واحد زمان و سطح زمین نشان می‌دهد. تیمارهای مختلف کشت مخلوط تیپ‌های رشدی از نظر سرعت رشد محصول هریک از تیپ‌ها اختلاف قابل‌توجهی مشاهده شد (شکل ۳). در تمام تیمارهای هر یک از تیپ‌های رشدی تا حدود ۵۰ روز پس از کاشت میزان سرعت رشد محصول به کندی افزایش یافت. در این مرحله به دلیل کامل نبودن کانوپی و کم بودن درصد جذب نور می‌باشد (Kobata and Moriwaki, 1990). از آن به بعد روند افزایش، برای همه تیمارها بین ۶۵ تا ۸۰ روز پس از کاشت به حداکثر میزان رسید. پس از آن، سرعت رشد محصول به دلیل مسن و زرد شدن برگ‌های پایینی، روند نزولی پیدا کرد و در مراحل انتهایی دوره رشد، به صفر رسید. بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول لوبیا قرمز در ۶۵ تا ۸۰ روز پس از کاشت به‌ترتیب در تیمار کشت خالص و مخلوط ۲۵٪ قرمز+ ۷۵٪ چشم‌بلبلی به‌ترتیب با ۲۵ و ۱۰ گرم در متر مربع در روز

مشاهده شد (شکل ۳- R). برای لوبیا چیتی بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول در بین ۶۰ تا ۸۰ روز پس از کاشت به‌ترتیب در تیمار کشت خالص و مخلوط ۲۵٪ چیتی + ۷۵٪ چشم‌بلبلی به‌ترتیب با ۱۴ و ۵ گرم در متر مربع در روز بود (شکل ۳- P). بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول لوبیا چشم‌بلبلی در ۶۵ روز پس از کاشت به‌ترتیب در کشت خالص و مخلوط ۲۵٪ چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چیتی با ۲۷ و ۲۰ گرم در متر مربع در روز مشاهده شد (شکل ۳- C). با کاهش سهم هریک از تیپ‌های رشدی در کشت مخلوط میزان سرعت رشد محصول و نیز روند افزایشی کندتر بود (شکل ۳).



شکل ۲- روند تغییرات میزان تجمع ماده خشک (TDM) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلبلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی

Figure 2-. Trends of dry matter accumulation (TDM) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series



شکل ۳- روند تغییرات سرعت رشد محصول (CGR) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلبلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی

Figure 3- Trends of crop growth rate (CGR) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series with three bean types

به دلیل این‌که سرعت رشد روزانه رابطه مستقیمی با سطح برگ و سرعت جذب خالص و در نهایت عملکرد دارد (Koocheki *et al*., 1991) عملکرد بالای این تیمارها قابل انتظار است. نوربخش و همکاران (Nurbakhsh *et al*., 2016) نیز با بررسی کشت مخلوط لوبیا و کنجد اظهار داشتن که جذب نور عامل اصلی در رشد و فتوسنتز گیاه می‌باشد کشت خالص کنجد به دلیل عدم رقابت بین گونه‌ای با لوبیا باعث جذب بهتر نور، افزایش رشد و فتوسنتز شده و به دنبال آن سرعت رشد افزایش یافته است. حداکثر شدن رشد محصول منطبق با حداکثر توانایی تولید ماده خشک است و حداکثر تبدیل انرژی خورشید در گیاه است (Tesar, 1984). ولی‌زاده (Valizadeh, 2016) اظهار داشت که بیش‌ترین سرعت رشد محصول لوبیا در مخلوط با سیاهدانه متعلق به تیمار کشت خالص بود و کم‌ترین میزان

برای تیمار کشت مخلوط ردیفی با سیاهدانه به‌دست آمد. مارتین و الکساندر (Martin and Alexaner, 1986) در ارزیابی رقابت بین‌گونه‌ای در مخلوط‌های ارقام پابلند و پاکوتاه گندم بهاره دریافتند که کشت مخلوط نه تنها باعث افزایش عملکرد نگردید، بلکه عملکرد را نسبت به کشت خالص کاهش داد، آن‌ها دلیل این کاهش را رقابت بین ارقام و کاهش سرعت رشد محصول ذکر کردند.

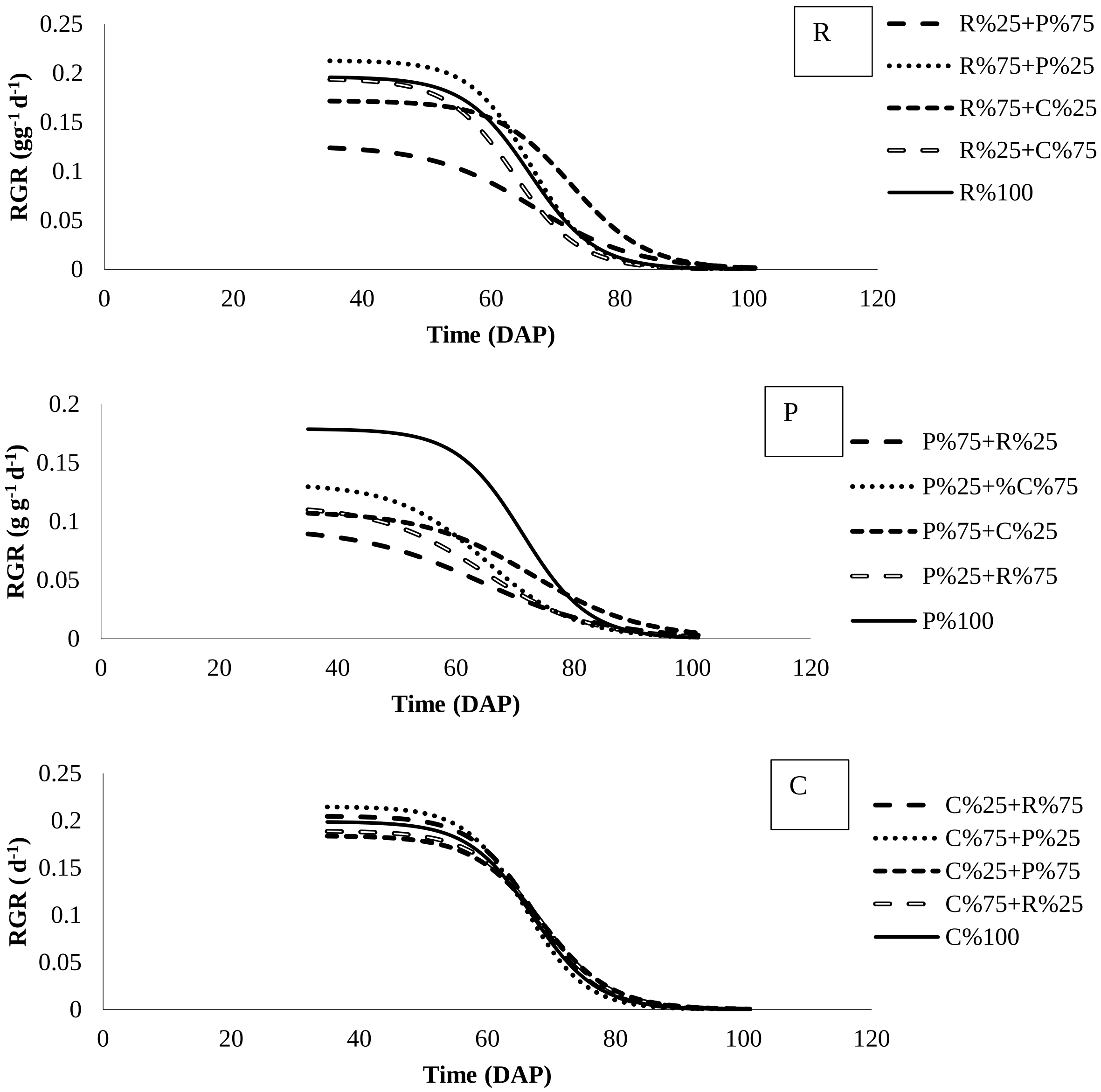
سرعت رشد نسبی (RGR)

این شاخص فیزیولوژیکی رشد نشان‌دهنده نسبت بافت‌های تقسیم‌شونده (مریستمی) به بافت‌های بالغ می‌باشد (Karimi and Siddique, 1991) و میزان افزایش وزن خشک گیاه، نسبت به وزن خشک اولیه آن در واحد زمان بوده و بر حسب گرم بر گرم در روز بیان می‌شود. هرگاه لگاریتم طبیعی وزن خشک نسبت به زمان رسم شود، شیب آن خط سرعت رشد نسبی خواهد بود، در واقع سرعت رشد نسبی لگاریتم سرعت رشد گیاه می‌باشد (میزان افزایش وزن خشک گیاه در طی زمان به وزن خشک قبلی). صرف‌نظر از تیمارهای کشت مخلوط، سرعت رشد نسبی در ابتدای دورهٔ رشد در بالاترین میزان خود بوده و گذشت ۵۰ روز پس از سبز شدن به علت بسته شدن کانوپی و افزایش وزن گیاه و در پی آن افزایش هزینه‌های نگهداری گیاه و همچنین افزایش بافت‌های ساختمانی که در فتوسنتز دخالت ندارند، به‌تدریج شروع به کاهش کرد و در انتهای دورهٔ رشد به صفر رسید. علت کاهش سرعت رشد نسبی این است که مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند، اما سرعت افزایش به دلیل افزایش نسبت بافت‌های بالغ به بافت‌های مریستمی کاهش می‌یابد، از طرفی بخشی از این کاهش می‌تواند مربوط به سایه‌اندازی برگ‌های بالایی و یا افزایش سن برگ‌های پایینی باشد (Koocheki *et al*., 1991) که باعث کاهش فتوسنتز می‌گردد. در اوایل دوره رشد بیشترین و کمترین سرعت رشد نسبی تیپ رشدی لوبیا قرمز به‌ترتیب مربوط به تیمار ۷۵٪ قرمز و + ۲۵٪ چیتی و ۷۵٪ چشم‌بلبلی + ۲۵٪ قرمز برابر با ۰/۲۲ و ۰/۱۲ گرم بر گرم در روز بود. سرعت رشد نسبی تیمارکشت خالص لوبیا قرمز که در اوایل رشد دارای حداکثر سرعت رشد نسبی بود، نسبت به تیمار کشت مخلوط ۷۵٪ قرمز و + ۲۵٪ چیتی پایین‌تر بود، ولی در مقایسه با سایر تیمارهای کشت مخلوط بالاتر بود (شکل۴-R). برای لوبیا چیتی در اوایل دوره رشد تیمارهای با بیشترین و کمترین سرعت رشد نسبی به‌ترتیب مربوط به تیمار کشت خالص و مخلوط ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ قرمز برابر با ۰/۱۸ و ۰/۰۹ گرم بر گرم در روز بود. برای لوبیا چشم‌بلبلی در اوایل دوره رشد تیمارها کشت مخلوط ۷۵٪ چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چیتی و ۷۵٪چیتی + ۲۵٪ چشم‌بلبلی برابر با ۰/۲۱ و ۰/۱۸ گرم بر گرم در روز به‌ترتیب بیشترین و کمترین سرعت رشد نسبی را داشتند و تیمار کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی سرعت رشد نسبی کمتری نسبت به تیمارهای ۷۵٪ قرمز+ ۲۵٪ چشم‌بلبلی و ۷۵٪ چشم‌بلبلی+ ۲۵٪ چیتی داشت. با کاهش سهم لوبیا قرمز در کشت مخلوط، سرعت رشد نسبی محصول در ابتدای فصل رشد کاهش یافت و بالاترین روند کاهشی در شرایط حضور لوبیا چشم‌بلبلی مشاهده شد (شکل ۴-R). با کاهش سهم لوبیا چیتی در کشت مخلوط با لوبیا قرمز، سرعت رشد نسبی محصول در ابتدای فصل رشد که در بیشترین میزان خود قرار داشت به میزان کمتری کاهش یافت ولی در شرایط حضور لوبیا چشم‌بلبلی، سرعت رشد نسبی روند کاهشی کمتری مشاهده شد (شکل ۴-P).

نتایج با نظر کلر و نیکی (Koller and Nyquis, 1970) مبنی بر روند نزولی و یکنواخت سرعت رشد نسبی با گذشت زمان هم‌خوانی دارد. کاهش سرعت رشد نسبی به‌صورت خطی به دلیل بالا رفتن نسبت بافت‌های ساختمانی به بافت‌های فعال مریستمی و افزایش سن برگ‌ها و از طرفی به‌دلیل کاهش نسبت سطح برگ و کاهش میزان جذب خالص می‌باشد، زیرا در حقیقت سرعت رشد نسبی حاصل ضرب سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) و نسبت سطح برگ (LAR) است. بنابراین سرعت رشد نسبی تحت تاثیر روند کاهش این شاخص‌ها قرار گرفته و به‌طور خطی کاهش می‌یابد (Nasiri Mahallati *et al*., 2007). محمدیان و همکاران (Mohammadian *et al*., 2013) در بررسی سه توده کنجد گزارش کردند بیشترین سرعت رشد نسبی مربوط به تیمار مخلوط توده‌های سبزوار با کاشمر بود.

سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)

آسیمیلاسیون خالص عبارت از مقدار مواد ساخته شده خالص در واحد زمان و واحد سطح برگ است و معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک) بر متر مربع (سطح برگ) در روز بیان می‌گردد (Sarmadnia and Koocheki, 2011). در کلیه تیمارها، میزان آسیمیلاسیون خالص در اوایل فصل رشد به دلیل پایین بودن سطح برگ فتوسنتز پایین بوده و به‌تدریج همراه با رشد و افزایش سطح برگ گیاه، در اواسط فصل رشد افزایش چشم‌گیری یافته و پس از آن احتمالاً به‌دلیل مسن شدن برگ‌ها و کاهش ظرفیت تولید مواد پرورده، تخریب تدریجی کلروفیل و کاهش غلظت آن در سطح برگ و همچنین افزایش تنفس در مقایسه با فتوسنتز در اثر نزدیک شدن به مرحله فیزیولوژیکی باشد (Koller and Nyquis, 1970) (شکل ۵).

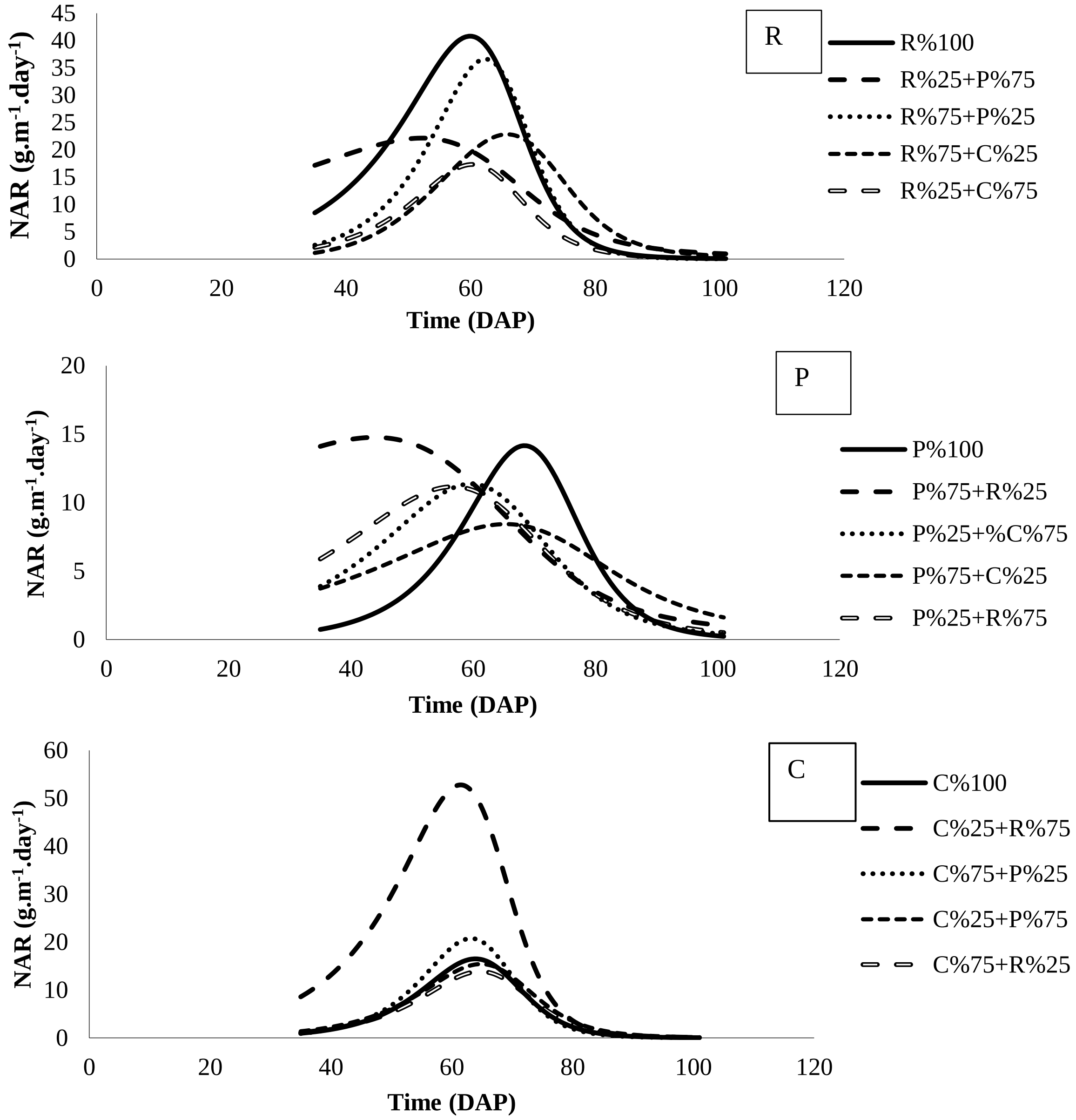


شکل ٤- روند تغییرات سرعت رشد نسبی (RGR) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلبلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با سه تیپ رشدی

Figure 4- Trends of relative growth rate (RGR) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series

بالاترین سرعت آسیمیلاسیون خالص لوبیا قرمز در کشت خالص (۴۰ گرم بر متر مربع برگ در روز) و کمترین آن نیز به تیمار ۲۵٪ قرمز + ۷۵٪ چیتی (۱۸ گرم بر متر مربع برگ در روز) اختصاص یافت (شکل ۵- R). زمانی‌که تیمارها لوبیا چیتی در حداکثر سرعت آسیمیلاسیون خالص خود قرار دارند، بیشترین سرعت آسیمیلاسیون خالص در تیمار کشت مخلوط ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ قرمز (۱۵ گرم بر متر مربع برگ در روز) در ۴۳ روز پس از کاشت و کمترین آن نیز به تیمار ۲۵٪ چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چیتی (۸ گرم بر متر مربع برگ در روز) در ۶۳ روز پس از کاشت اختصاص یافت. حداکثر سرعت آسیمیلاسیون خالص در تیمار خالص کمتر از تیمار کشت مخلوط ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ قرمز و بیشتر از سایر تیمارهای کشت مخلوط بود. تیمار خالص لوبیا چیتی در ۳۵ روز پس از کاشت پایین‌ترین سرعت آسیمیلاسیون خالص را نسبت به تیمارهای کشت مخلوط دارد، ولی به‌تدریج سرعت آسیمیلاسیون خالص افزایش یافته تا به حداکثر خود رسیده کشت خالص کمی دیرتر به حداکثر سرعت آسیمیلاسیون خالص خود رسید و زمانی که تیمارها شروع به کاهش سرعت

آسیمیلاسیون خالص می‌کنند در تیمار کشت خالص روند نزولی تندتر نسبت به تیمارهای کشت مخلوط مشاهده شد (شکل ۵- C). با افزایش سن برگ از فتوسنتز نیز کاسته می‌شود که این امر به نوبه خود موجب افزایش شیب نزولی سرعت آسیمیلاسیون خالص می‌شود (Eddowes, 1962). زمانی‌که تیمارهای لوبیا چشم‌بلبلی در حداکثر سرعت آسیمیلاسیون خالص خود قرار دارند بیشترین سرعت آسیمیلاسیون خالص، در تیمار کشت مخلوط ۷۵٪ لوبیا قرمز + ۲۵٪ چشم‌بلبلی (۵۲ گرم بر متر مربع برگ در روز) به دلیل شاخص سطح برگ پایین آن و سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها دارای سرعت آسیمیلاسیون خالص بیشتر نسبت به سایر تیمارها و کمترین سرعت آسیمیلاسیون خالص نیز به تیمار ۲۵٪ قرمز + ۷۵٪ چشم‌بلبلی (۱۴ گرم بر متر مربع برگ در روز) در ۶۰ روز پس از کاشت مشاهده شد. حداکثر سرعت آسیمیلاسیون خالص در تیمار خالص کمتر از تیمارهای کشت مخلوط ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چشم‌بلبلی و۷۵٪ چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چیتی ولی بیشتر از سایر تیمارهای کشت مخلوط بود (شکل ۵ – C).



شکل ۵- روند تغییرات سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلبلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با سه تیپ رشدی

Figure 5- Trends of net assimilation rate (NAR) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series

محمدیان و همکاران (Mohammadian *et al*., 2013) در بررسی سه توده کنجد گزارش کردند که بیشترین سرعت آسیمیلاسیون خالص مربوط به تیمار مخلوط توده‌های سبزوار با کاشمر بود و توده خالص سبزوار، در ۶۰ روز اول دوره رویشی خود به دلیل شاخص سطح برگ بالای آن و سایه‌اندازی برگ‌ها دارای سرعت آسیمیلاسیون خالص کمتری نسبت به سایر تیمارها بود. مارتین و الکساندر (Martin and Alexaner, 1986) در ارزیابی رقابت بین‌گونه‌ای در مخلوط‌های ارقام پابلند و پاکوتاه گندم بهاره دریافتند که نه تنها کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد نگردید، بلکه عملکردها را نسبت به کشت خالص کاهش داد، آن‌ها دلیل این کاهش را رقابت بین ارقام و کاهش سرعت آسیمیلاسیون خالص ذکر کردند.

نتیجه‌گیری

کشت مخلوط گیاهان خانواده لگوم‌ها که دارای ویژگی‌های فنولوژیکی و خصوصیات مورفولوژیکی متفاوتی باشند تا کم‌ترین رقابت را در آشیان اکولوژیکی ایجاد کنند و از طرف دیگر، باعث بهبود ویژگی‌های خاک از جمله تامین نیتروژن شوند، امری بسیار مهم در جهت تولید پایدار گیاهان سالم و عاری از هر گونه مواد شیمیایی به حساب آید. نتایج این آزمایش به خوبی نشان‌دهنده اثر مثبت کشت مخلوط در بهبود برخی از شاخص‌های مختلف مورد مطالعه برای گیاهان مورد بررسی است، به‌عنوان مثال سرعت رشد نسبی لوبیا قرمز، سرعت اسیمیلاسیون خالص لوبیا چیتی و سرعت رشد نسبی و سرعت اسیمیلاسیون خالص لوبیا چشم‌بلبلی در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص به‌دست آمد و البته تراکم‌های بیشتر کشت خالص موجب بهبود برخی دیگر شاخص‌های مانند سطح برگ، سرعت رشد و ماده خشک مربوط به هر سه تیپ رشدی شد. با این حال اظهار نظر در رابطه با برتری کشت مخلوط بر کشت خالص از طریق مدنظر قرار دادن جنبه‌های دیگر مانند دستیابی به ثبات تولید، ارزیابی اقتصادی، سلامت زیست‌محیطی و غیره میسر خواهد بود.

References

1. Ali madadi, A., Rostamza, M., Jahansooz, M. R., and Ahmadi A. Tavakol Afshari, R. 2005. Cowpea, common bean and mung bean radiation use efficiency, light extinction coefficient and radiation interception in double cropping. In agriculture and gardening (71): 67-75. (in Persian with English abstract).
2. Barker, S., and Dennett, M. D. 2013. Effect of density, cultivar and irrigation on spring-sown monocrops and intercrops of wheat (*Triticum aestivum* L.) and faba beans (*Vicia faba* L.). European Journal of Agronomy (51): 108-116.
3. Canfield, D. E., Glazer A. N., and Falkowski, P.G. 2010. The evolution and future of earth’s nitrogen cycle. Science 330 (6001): 192-196.
4. Cao, S., Luo, H., Jin, M., Jin, S., Duan, X, Zhou. Y., Chen, W., Liu, T., Jia, Q., Zhang, B., Huang, J., Wang, X., Shang, X., and Sun, Z. 2015. Intercropping influenced the occurrence of stripe rust and powdery mildew in wheat. Crop Protection (70): 40-46.
5. Chapman, S. R., Allard, R.W., and Adams, J. 1989. Effect of planting rate and genotypic frequency on yield and seed size in mixture of two wheat varieties. Crop Science (9): 575-576.
6. Gubbels, G. H., and Kenaschuk, E. O. 1987. Performance of pure and mixed stands of flax cultivars. Canadian Journal of Plant Science 67 (3): 797-802.
7. Das, K., Dang, R., and Shivananda, T. N. 2008. Influence of bio-fertilizers on the availability of nutrients (N, P and K) in soil in relation to growth and yield of Stevia rebaudiana grown in South India. International Journal of Applied Research in Natural Products 1 (1): 20-24.
8. Dela-Foente, E. B., Suarez, S. A., Lenadis, A. E., and Poggio, S. L. 2014. Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: Evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. Njas-Wagen Journal of Life Science. In press.
9. Dhingra, K. K., Dhillon, M. S., Grewal, D. S., and Sharma, K. 1991. Performance of maize and mungbean intercropping in different planting patterns and row orientation. Indian Journal Agronomy (36): 207-212.
10. Eddowes, M. 1969. Physiological studies of competition in *Zea mays* L: I. Vegetative growth and ear development in maize. The Journal of Agricultural Science 72 (2): 185-193.
11. Elijah, M. and Akunda, W. 2001. Improving food production by understanding the effect of intercropping and plant population on soybean nitrogen fixing attributes. The Journal of Food Technology in African (6): 110-115.
12. FAOSTAT. 2013. Http://faostat.fao.org (visited at: 2013).
13. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., and Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science 327 (5967): 812-818.
14. Hajinia, S., and Ahmadvand, G. 2017. Effect of Light Radiation Absorption and Its Use Efficiency in Intercropping of Soybean and Millet under Water Deficit Stress. Journal of Ecophysiology of Crops 11 (4).

15. Jahan, M., Amiri, M. B., and Ehyaei, H. R. 2012. Radiation Absorption and Use Efficiency of Sesame as Affected by Biofertilizers in a Low Input Cropping System. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (2): 435-447. (in Persian with English abstract).
16. Jensen, N. F. 1952. Intra-varietal Diversification in Oat Breeding 1. Agronomy Journal 44 (1): 30-34.
17. Kannenberg, L. W., and Hunter, R. B. 1972. Yielding Ability and Competitive Influence in Hybrid Mixtures of Maize 1. Crop Science 12 (3): 274-277.
18. Karimi, M. M., and Siddique, K. M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research 42:13-20. (in Persian with English abstract).
19. Khorramdel, S., Mahmoodi, G., Abdollahi, F., and Hasanzadeh, H. 2014. Evaluation of Growth Indices and Diversity of Weeds in Replacement and Additive Intercropping Series of Ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) with Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Research in Crop Ecosystems 1 (3). (in Persian with English abstract).
20. Khorramdel, S., Siahmargoei, A., and Mahmoudi, G. 2014. Effect of replacement and additive intercropping series of ajowan with bean on yield and yield components. Crop Production Publication 9 (1): 1-24. (in Persian with English abstract).
21. Kobata, T., and Moriwaki, N. 1990. Grain growth rate as a function of dry matter production rate an experiment with two rice cultivars under different radiation environments. Journal of Crop Sciences (59): 1-7.
22. Koller, H. R., Nyquist, W. E., and Chorush, I. S. 1970. Growth Analysis of the Soybean Community 1. Crop Science 10 (4): 407-412.
23. Koocheki, A., Hosseini, M., and Hashemi, A. 2006. Sustainable Agriculture. Jihad Publications, Mashhad University, 164p. (in Persian).
24. Koocheki, A., and Seramandria, Gh. 2005. Physiology of crops (translation). Publications University of Mashhad.
25. Koocheki, A., Rashed Mohsen, M. H., Nasiri, M., and Sadr Abadi, R. 1991. Physiological foundations of crop growth and development. Astan Quds Razavi Publishing House. 404 pages. (in Persian with English abstract).
26. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Borumand-Rezazadeh, Z., and Khorramdel, S. 2010. Evaluation of nitrogen absorption and use efficiency in relay intercropping of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (2): 327-334. (In Persian with English abstract).
27. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Azimi, R. 2010. The effect of irrigation intervals and intecropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corms for climate change adaptation. Iranian Journal of Field Crops Research 11(3): 390-400. (in Persian with English abstract).
28. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Azimi, R. 2013. The Effect of Irrigation Intervals and Intecropped Marjoram (*Origanum vulgare*) with Saffron (*Crocus sativus*) on Possible Cooling Effect of Corms for Climate Change Adaptation, Iranian Journal of Field Crops Research 11(3): 390-400. (in Persian with English abstract).
29. Kremer, R. J., and Kussman, R. D. 2011. Soil quality in a pecan–kura clover alley cropping system in the Midwestern USA. Agroforestry Systems 83 (2): 213-223.
30. Martin, J. M., and Alexander, W. L. 1986. Intergenotypic competition in biblends of spring wheat. Canadian Journal of Plant Science 66 (4): 871-876.
31. Mazaheri, D. 1987. Mixed Corn and Cultivar, Iranian Journal of Agricultural Science 18 (4): 58-52. (in Persian with English abstract).
32. Mohammadian, M., Rezvani Moghaddam, P., Zarghani, H., and Yanegh, A. 2013. Study the Effect of Intercropping of three Sesame Genotypes on Morphological and Physiological Indice. Iranian Journal of Field Crops Research 11(3): 421-429. (in Persian with English abstract).
33. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A. R., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2014. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. (in Persian with English abstract).
34. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Bhshte, A. 2007. Agroecology. (Translation). Ferdowsi University of Mashhad.
35. Nassiri-Mahallati, M. 2000. Modelling of Crop Growth Processes Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran. (in Persian).
36. Nezami, A., and Bagheri, A. 2005. The effect of cold tolerant chickpea genotypes characteristics of autumn and spring: phonological and morphological characteristics. Iranian Journal of Field Crop Research 3 (1): 143-155. (in Persian with English abstract).
37. Nurbakhsh, F., Koocheki, A. R., and Nassiri Mahallati, M. 2016. Effects of planting pattern and seed ratio on growth indices of intercropped sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 3 (1): 111 -123. (in Persian with English abstract).
38. Probst, A. H. 1957. Performance of Variety Blends in Soybeans 1. Agronomy Journal 49 (3): 148-150.
39. Righi, M., Sangtarash, H., and Cambodia, C. 1989. Yield and quality of wheat varieties Helmand, fried eggs and cross the plateau. Fifth Iranian Congress of Plant Breeding and Crop Production.

40. Baulcombe, D., Crute, I., Davies, B., Dunwell, J., Gale, M., Jones, J., ... and Toulmin, C. 2009. Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society.
41. Tang, X., Bernard, L., Brauman, A., Daufresne, T., Deleporte, P., Desclaux, D., ... and Hinsinger, P. 2014. Increase in microbial biomass and phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions. Soil Biology and Biochemistry 75: 86-93.
42. Tesar, M. B. 1984. Physiological Basis of Crop Growth and Development. American Society of Agronomy. 404pp.
43. Valizadeh, S. 2016. Evaluation of agronomic criteria of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping with some medicinal plants. MSc Thesis Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
44. Yusuf, R. I., Siemens, J. C., and Bullock, D. G. 1999. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. Agronomy Journal (91): 928-933.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 385-399

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۳۹۹-۳۸۵

Effect of Different Intercropping Ratios of Three Bean Ecotypes as Replacement Series on their Physiological Indices

Y. Rameshjan[1], A. Koocheki[2*], M. Nassiri Mahallati[2], S. Khorramdel[3]

Received: 28-04-2019
Accepted: 01-09-2019

Introduction

Recently self-sustaining, diversified, low-input, and energy-efficient agricultural systems like intercropping have been considered as the efficient way to achieve the sustainability in agriculture. Intercropping as an old agricultural practice, have been followed especially at the small scale and subsistence farming. It can be defined as the agricultural practice of growing two or more crops or ecotypes together in the same field. Intercropping brings diversity of species in the cropping systems, and is considered to make the systems more resilient against environmental perturbations, thus enhancing food security. It provides high insurance against crop failure, especially in the extreme weather conditions like temperature stress, drought, flood, frost, pest infestation etc. In fact, intercropping is claimed to be one of the most significant cropping techniques in sustainable agriculture, and many researches and reviews attribute its utilization to the number of environmental benefits from promoting land biodiversity to diversifying agricultural outcome. Legumes after cereals are the second source of human food and in Iran they are the second most important food. Due to the importance of legume intercropping in the sustainability of agricultural systems, the objective of the present work was to evaluate the effect of row intercropping of three bean ecotypes red bean, pinto bean and cowpea bean as replacement series on the physiological growth indices under climatic conditions of Mashhad.

Materials and Methods

This experiment was conducted based on a randomized complete block design with nine treatments and three replications at the Agricultural Research Station, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad during 2016-2017 growing season. Treatments were 75% red bean+ 25% pinto bean, 75% red bean+ 25% cowpea bean, 25% red bean+ 75% pinto bean, 25% red bean+ 75% cowpea bean, 75% pinto bean+ 25% cowpea bean, 75% cowpea bean+ 25% pinto bean and their monoculture. In order to measure the growth indices, the destructive samplings were carried out every 14 days from 0.15 m^2 of row in each plot. All bean ecotypes were harvested by cutting at the soil surface. The studied indices were leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DM), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR).

Results and Discussion

The highest leaf area index for red bean, pinto bean and cowpea ecotypes were observed in their monoculture with 2.45, 1.45 and 3.60, respectively. The fast period of vegetative growth and dry matter accumulation were observed at 65-80 days after planting with a small decline afterwards until physiological maturity. The maximum dry matter accumulation for these ecotypes was obtained in their monoculture. Crop growth rate reached its peak 65 days after emergence followed by a decreasing trend afterwards. The highest crop growth rate was observed in pinto bean with 27 g m^{-2} day^{-1}. At the beginning of growth stage, due to more penetration of light into the canopy and less shadow of the leaves the less respiration, RGR was more and its reduction slope was less. As time passes and vegetative and reproductive organs grow more, the shadow of leaves on each other increases and therefore after words RGR decreased. Also, net assimilation rate reached to its peak 60 days after emerging and decreased.

Conclusions

The results of showed that intercropping of bean ecotypes with increasing plant density, increased the leaf area index (LAI) and dry matter accumulation (DM) of both crops in monoculture and mixed culture which could be due to increased vegetation and it's closer to optimum density in mixed culture and better use of environmental resources. However due to different criteria of these ecotypes associated with better use of water, radiation and nutrient resources when they are intercropped, physiological growth indices were increased. Overall following this agroecological practice in cropping systems could keep contribution to move the current agroecosystems one step towards sustainability

---

1- PhD student in Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

Acknowledgements

This research was funded by Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Bean ecotypes, Crop growth rate, Dry matter accomulation, Leaf area index